

## 明 細 書

### レーザ加工方法及びレーザ加工装置

#### 技術分野

- [0001] 本発明は、レーザ光を照射することで加工対象物を加工するためのレーザ加工方法及びレーザ加工装置に関する。

#### 背景技術

- [0002] 従来のレーザ加工技術には、加工対象物を加工するためのレーザ光を集光する集光レンズに対し、加工対象物の主面高さを測定する測定手段（接触式変位計や超音波距離計等）を所定の間隔をもって並設させたものがある（例えば、下記特許文献1の図6～図10参照。）。このようなレーザ加工技術では、加工対象物の主面に沿ってレーザ光でスキャンする際に、測定手段により加工対象物の主面高さを測定し、その測定点が集光レンズの直下に到達したときに、その主面高さの測定値に基づいて集光レンズと加工対象物の主面との距離が一定となるように集光レンズをその光軸方向に駆動する。

- [0003] また、主面が凸凹している加工対象物を加工する技術としては、加工準備として、加工を施す部分全ての平面度を平面度測定手段（投光器と反射光受光器とを有する平面度測定器）によって測定した後、測定した平面度に基づいて加工対象物を加工するものがある（例えば、下記特許文献2参照。）。

特許文献1：特開2002-219591号公報

特許文献2：特開平11-345785号公報

#### 発明の開示

#### 発明が解決しようとする課題

- [0004] しかしながら、上記特許文献1に記載のレーザ加工技術においては、次のような解決すべき課題がある。すなわち、加工対象物の外側の位置からレーザ光の照射を開始してレーザ光と加工対象物とをその主面に沿って移動させて加工を行う場合に、測定手段は加工対象物の外側から測定を開始し、加工対象物の内側へと測定を行っていくことになる。そして、この測定によって得られた主面高さの測定値に基づいて

集光レンズを駆動すると、加工対象物の端部においてレーザ光の集光点がずれる場合がある。

[0005] また、上記特許文献2に記載の技術を用いた場合には、加工対象物の主面の平面度を正確に把握できるものの、加工準備と実際の加工とで同じ部位を2度スキャンしなければならないため、時間がかかり加工効率が低下する。

[0006] そこで本発明では、加工対象物の端部におけるレーザ光の集光点のずれを極力少なくしつつ効率よくレーザ加工を行うことができるレーザ加工方法及びレーザ加工装置を提供することを目的とする。

#### 課題を解決するための手段

[0007] 本発明者らは上記課題を解決するために種々の検討を行った。まず、加工用の第1のレーザ光と、加工対象物の主面の変位を測定するための第2のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けて照射する加工方法について検討した。この検討内容について図10(A)～図10(C)を参照しながら説明する。

[0008] 図10(A)では、ダイシングフィルム802に固定されているシリコンウェハ800を、レーザユニット804からレーザ光を照射して加工する場合であって、加工準備段階を示している。レーザユニット804は、レーザ光をシリコンウェハ800に向けて集光するための集光レンズ804aと、集光レンズ804aを保持するためのレンズホルダ804bと、レンズホルダ804bをシリコンウェハ800に対して進退自在に保持するピエゾアクチュエータ804cと、を含む。レーザユニット804を含むレーザ加工装置にはこの他、レーザ光源といった部位があるがそれらの記載は省略する。図10(A)の状態、加工用の第1のレーザ光806及びシリコンウェハ800の主面800bの変位を測定するための第2のレーザ光808の照射を開始し、矢印Aの方向にシリコンウェハ800が移動するようにシリコンウェハ800を載置しているステージ(図示しない)を移動させる。シリコンウェハ800に第1のレーザ光806で加工しようとしているのは切断予定ライン800aに相当する位置である。

[0009] シリコンウェハ800が図10(A)の矢印Aの方向に移動すると、図10(B)に示すように第1のレーザ光806及び第2のレーザ光808の光軸がシリコンウェハ800と交差する位置になる。ピエゾアクチュエータ804cは、第2のレーザ光808の反射光から検出

される非点収差信号が所定の値になるようにレンズホルダ804bをシリコンウェハ800に対して進退させる。従って、図10(B)の状態からは、ピエゾアクチュエータ804cが縮んでレンズホルダ804b及び集光レンズ804aは上昇する。しかしながら、シリコンウェハ800は図10(A)の矢印Aの方向に移動し続けているので、レンズホルダ804b及び集光レンズ804aが所定の位置に上昇し、切断予定ライン800aにおいて第1のレーザ光806の集光点が合うまでにはタイムラグが発生する。また、非点収差信号も大きく振られることになって第1のレーザ光806の集光点がずれることにもなる。

[0010] 従って、図10(C)に示すように、切断予定ライン800aにおいて第1のレーザ光806の焦点が合って安定状態になるまでの区間Bでは、切断予定ライン800aではない部分がレーザ加工されることになる。例えば、シリコンウェハ800の厚みが100 $\mu$ mであって、15mSの時間遅れが発生するものとすれば、加工速度が100mm/Sの場合には区間Bの長さは理論上1.5mmとなる。

[0011] また、図10(A)ー図10(C)では理想的に平面度の高いシリコンウェハ800について考えたが、例えば端部が反りあがっている場合も考えられる。端部が反りあがっているシリコンウェハの例について図11(A)ー図11(C)を参照しながら説明する。

[0012] 図11(A)では、ダイシングフィルム802に固定されているシリコンウェハ810を、レーザユニット804からレーザ光を照射して加工する場合であって、加工準備段階を示している。レーザユニット804は図10(A)ー図10(C)を参照しながら説明したものと同様である。シリコンウェハ810は、その端部が反りあがっている。シリコンウェハ810の切断予定ライン810aは主面810bから等距離に位置するように設定されている。

[0013] シリコンウェハ800が図11(A)の矢印Aの方向に移動すると、図11(B)に示すように第1のレーザ光806及び第2のレーザ光808の光軸がシリコンウェハ810と交差する位置になる。ピエゾアクチュエータ804cは、第2のレーザ光808の反射光から検出される非点収差信号が所定の値になるようにレンズホルダ804bをシリコンウェハ810に対して進退させる。従って、図11(B)の状態からは、ピエゾアクチュエータ804cが縮んでレンズホルダ804b及び集光レンズ804aは上昇する。しかしながら、シリコンウェハ810は図11(A)の矢印Aの方向に移動し続けているので、レンズホルダ804b及び集光レンズ804aが所定の位置に上昇し、切断予定ライン810aにおいて第1の

レーザ光806の集光点が合うまでにはタイムラグが発生する。また、シリコンウェハ810の端部が反りあがっているために、レンズホルダ804b及び集光レンズ804aが所定の位置まで上昇する際には、図11(B)の点線Cの位置から主面810bの実際の位置に対するギャップが反映されてオーバーシュートを起こすことになる。

[0014] 従って、図11(C)に示すように、切断予定ライン810aにおいて第1のレーザ光806の集光点が合って安定状態になるまでの区間Dでは、切断予定ライン800aではない部分がレーザ加工されることになる。この区間Dの長さはオーバーシュートの分だけ図10(C)における区間Bの長さよりも長くなる傾向にある。そこで本発明者らは、加工対象物の端部における処理に着目した。本発明はこれらの知見に基づいてなされたものである。

[0015] 本発明のレーザ加工方法は、第1のレーザ光をレンズで集光して加工対象物の内部に集光点を合わせて照射し、加工対象物の切断予定ラインに沿って加工対象物の内部に改質領域を形成するレーザ加工方法であって、(1)加工対象物の主面の変位を測定するための第2のレーザ光を加工対象物に向けて照射し、当該照射に応じて主面で反射される反射光を検出しながら、切断予定ライン上の一点と切断予定ラインの一端との間の変位を取得する変位取得ステップと、(2)当該取得した変位に基づいて加工対象物の主面に対してレンズを保持する初期位置を設定し、当該設定した初期位置にレンズを保持する位置設定ステップと、当該レンズを初期位置に保持した状態で第1のレーザ光を照射して切断予定ラインの一端部において改質領域を形成し、当該一端部において改質領域を形成した後にレンズを初期位置に保持した状態を解除してレンズの位置を調整しながら改質領域を形成する加工ステップと、を備える。

[0016] 本発明のレーザ加工方法によれば、切断予定ライン上の一点と切断予定ラインの一端との間の変位を取得し、取得した変位に基づいてレンズを保持する初期位置を設定するので、例えば加工対象物の端部に湾曲といった形状変動が生じていても、このような端部の状態に合わせた初期位置にレンズを保持することができる。また、初期位置にレンズを保持した状態で切断予定ラインの一端部に改質領域を形成するので、加工対象物の端部の形状変動による影響を極力排除して改質領域を形成する

ことができる。そして、切断予定ラインの一端部において改質領域を形成した後にレンズを保持した状態を解除し、レンズの位置を調整しながら改質領域を形成するので、加工対象物内部の所定の位置に改質領域を形成することができる。

[0017] また、本発明のレーザ加工法では、変位取得ステップにおいては、第1のレーザ光を照射せずに第2のレーザ光を照射することも好ましい。加工対象物の主面の変位を取得する際に第1のレーザ光を照射しないので、加工対象物に改質領域を形成せずに主面の変位を取得できる。

[0018] また、本発明のレーザ加工方法では、第1のレーザ光と第2のレーザ光とをレンズで集光して同一の軸線上で加工対象物に向けて照射することも好ましい。第1のレーザ光と第2のレーザ光とがレンズで集光され同一の軸線上において照射されるため、例えば、加工対象物を載置するステージの振動を原因として、第1のレーザ光の集光点の位置が加工対象物の内部における所定の位置からずれてしまうのを防止することができる。

[0019] また、本発明のレーザ加工方法では、変位取得ステップにおいて、切断予定ライン上の一点から切断予定ラインの一端に向かって変位を取得することも好ましい。切断予定ラインの内側から外側へ変位を取得すれば連続的に変化する面の変位を取得することになるので、安定して変位を取得できる。

[0020] また、本発明のレーザ加工方法では、変位取得ステップにおいて、第2のレーザ光の反射光の光量も併せて取得しており、位置設定ステップにおいては、当該取得した光量の変化量が極値となった部位における変位に基づいて初期位置を設定することも好ましい。反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化するもので、反射光の光量の変化量が極値となる部位の近傍では主面の変位が急峻になっているものと考えられる。従って、この部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定して、その部位における主面の変位に基づいて初期位置を設定できる。

[0021] また、本発明のレーザ加工方法では、変位取得ステップにおいて、第2のレーザ光の反射光の光量も併せて取得しており、位置設定ステップにおいては、当該取得した光量が所定の閾値となった部位における変位に基づいて初期位置を設定することも好ましい。反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化する。従って、所定の

閾値を主面の高さに応じた値に設定すれば、反射光の光量が所定の閾値となる部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定して、その部位における主面の変位に基づいて初期位置を設定できる。

[0022] また、本発明のレーザ加工方法では、加工ステップにおいて、第2のレーザ光を加工対象物の主面に向けて照射し、当該照射に応じて主面で反射される反射光の光量に基づいてレンズを初期位置に保持した状態を解除することも好ましい。反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化する。従って、反射光の光量によって加工対象物の主面の外縁に相当する部位を想定することができ、その部位においてレンズを初期位置に保持した状態を解除することができる。

[0023] また、本発明のレーザ加工方法では、加工ステップにおいて、反射光の光量の変化量が極大値となった後にレンズを初期位置に保持した状態を解除することも好ましい。反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化するので、反射光の光量の変化量が極大値となる部位の近傍では主面の変位が急峻になっているものと考えられる。従って、この部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定して、その部位において改質領域を形成した後にレンズを初期位置に保持した状態を解除することができる。

[0024] また、本発明のレーザ加工方法では、加工ステップにおいて、反射光の光量が所定の閾値となった後にレンズを初期位置に保持した状態を解除することが好ましい。反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化する。従って、所定の閾値を主面の高さに応じた値に設定すれば、反射光の光量が所定の閾値となる部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定して、その部位において改質領域を形成した後にレンズを初期位置に保持した状態を解除できる。

[0025] 本発明のレーザ加工装置は、第1のレーザ光を加工対象物の内部に集光点を合わせて照射し、加工対象物の切断予定ラインに沿って加工対象物の内部に改質領域を形成するレーザ加工装置であって、第1のレーザ光と加工対象物の主面の変位を測定するための第2のレーザ光とを加工対象物に向けて集光するレンズと、記第2のレーザ光の照射に応じて主面で反射される反射光を検出して主面の変位を取得する変位取得手段と、加工対象物とレンズとを主面に沿って相対的に移動させる移動

手段と、レンズを主面に対して進退自在に保持する保持手段と、移動手段及び保持手段それぞれの挙動を制御する制御手段と、を備え、第2のレーザ光を照射しながら、制御手段は加工対象物とレンズとを切断予定ラインに沿って相対的に移動させるように移動手段を制御し、変位取得手段は切断予定ラインの一点と切断予定ラインの一端との間の変位を取得し、制御手段は当該取得した変位に基づいて設定される初期位置にレンズが保持されるように保持手段を制御し、当該レンズを初期位置に保持した状態で第1のレーザ光を照射しながら、制御手段は加工対象物とレンズとを切断予定ラインに沿って相対的に移動させるように移動手段を制御して切断予定ラインの一端部において改質領域を形成し、当該一端部において改質領域を形成した後に、制御手段はレンズを初期位置に保持した状態を解除してレンズの位置を調整しながら保持するように保持手段を制御し、加工対象物とレンズとを切断予定ラインに沿って相対的に移動させるように移動手段を制御して改質領域を形成する。

[0026] 本発明のレーザ加工装置によれば、切断予定ライン上の一点と切断予定ラインの一端との間の変位を取得し、当該取得した変位に基づく初期位置にレンズが保持するので、例えば加工対象物の端部に湾曲といった形状変動が生じていても、このような端部の状態に合わせた初期位置にレンズを保持することができる。また、初期位置にレンズを保持した状態で切断予定ラインの一端部に改質領域を形成するので、加工対象物の端部の形状変動に依存することなく改質領域を形成することができる。そして、切断予定ラインの一端部において改質領域を形成した後にレンズを保持した状態を解除し、レンズの位置を調整しながら改質領域を形成するので、レンズと加工対象物の主面との距離を一定に保って改質領域を形成することができる。

[0027] また、本発明のレーザ加工装置では、制御手段が加工対象物とレンズとを切断予定ラインに沿って相対的に移動させるように移動手段を制御し、変位取得手段が切断予定ラインの一点と切断予定ラインの一端との間の変位を取得する際に、第1のレーザ光を照射せずに第2のレーザ光を照射することも好ましい。加工対象物の主面の変位を取得する際に第1のレーザ光を照射しないので、加工対象物に改質領域を形成せずに主面の変位を取得できる。

[0028] また、本発明のレーザ加工装置では、レンズは、第1のレーザ光と第2のレーザ光と

を同一の軸線上で加工対象物に向けて集光することが好ましい。第1のレーザ光と第2のレーザ光とが同一の軸線上において照射されるため、例えば、加工対象物を載置するステージの振動などを原因として、第1のレーザ光の集光点の位置が加工対象物の内部における所定の位置からずれてしまうのを防止することができる。

[0029] また、本発明のレーザ加工装置では、制御手段は第2のレーザ光が切断予定ラインの一点から一端にかけて照射されるように移動手段を制御し、変位取得手段は当該第2のレーザ光の照射に応じて切断予定ラインの一点から一端に向かって変位を取得することも好ましい。切断予定ラインの内側から外側へ変位を取得すれば連続的に変化する面の変位を取得することになるので、安定して変位を取得できる。

[0030] また、本発明のレーザ加工装置では、変位取得手段は第2のレーザ光の反射光の光量も併せて取得し、制御手段は当該取得した光量の変化量が極値となった部位における変位に基づいて初期位置を設定することも好ましい。反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化するので、反射光の光量の変化量が極値となる部位の近傍では主面の変位が急峻になっているものと考えられる。従って、この部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定して、その部位における主面の変位に基づいて初期位置を設定できる。

[0031] また、本発明のレーザ加工装置では、変位取得手段は第2のレーザ光の反射光の光量も併せて取得し、制御手段は当該取得した光量が所定の閾値となった部位における変位に基づいて初期位置を設定することも好ましい。反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化するので、反射光の光量の変化量が極値となる部位の近傍では主面の変位が急峻になっているものと考えられる。従って、この部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定して、その部位における主面の変位に基づいて初期位置を設定できる。

[0032] また、本発明のレーザ加工装置では、制御手段は第2のレーザ光の反射光の光量に基づいてレンズを初期位置に保持した状態を解除するように保持手段を制御することも好ましい。反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化する。従って、反射光の光量によって加工対象物の主面の外縁に相当する部位を想定することができ、その部位において改質領域を形成した後にレンズを初期位置に保持した状態を解



除することができる。

[0033] また、本発明のレーザ加工装置では、制御手段は、反射光の光量の変化量が極大値となった後にレンズを初期位置に保持した状態を解除するように保持手段を制御することも好ましい。反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化するので、反射光の光量の変化量が極値となる部位の近傍では主面の変位が急峻になっているものと考えられる。従って、この部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定して、その部位において改質領域を形成した後にレンズを初期位置に保持した状態を解除することができる。

[0034] また、本発明のレーザ加工装置では、制御手段は、反射光の光量が所定の閾値となった後にレンズを初期位置に保持した状態を解除するように保持手段を制御することも好ましい。反射光の光量は反射する面との距離に応じて変化するので、所定の閾値を主面の高さに応じた値に設定すれば、反射光の光量が所定の閾値となる部位を加工対象物の主面の外縁に相当するものと想定して、その部位において改質領域を形成した後にレンズを初期位置に保持した状態を解除できる。

#### 発明の効果

[0035] 本発明のレーザ加工方法及びレーザ加工装置によれば、加工対象物の端部におけるレーザ光の集光点のずれを極力少なくしつつ効率よくレーザ加工を行うことができる。

#### 図面の簡単な説明

[0036] [図1]図1は、本実施形態であるレーザ加工装置の構成を示す図である。

[図2]図2は、本実施形態のレーザ加工装置が備える制御装置の機能的な構成を示す図である。

[図3]図3は、本実施形態を説明するための加工対象物を示す図である。

[図4]図4は、本実施形態のレーザ加工方法を説明するための図である。

[図5]図5は、本実施形態のレーザ加工方法を説明するための図である。

[図6]図6は、本実施形態のレーザ加工方法を説明するための図である。

[図7]図7は、本実施形態のレーザ加工方法を説明するための図である。

[図8]図8は、本実施形態のレーザ加工方法を説明するための図である。

[図9]図9は、本実施形態のレーザ加工方法を説明するための図である。

[図10]図10は、本発明に至る検討内容を説明するための図である。

[図11]図11は、本発明に至る検討内容を説明するための図である。

#### 符号の説明

[0037] 1…レーザ加工装置、2…ステージ、3…レーザヘッドユニット、4…光学系本体部、5…対物レンズユニット、6…レーザ出射装置、7…制御装置、S…加工対象物、R…改質領域、42…加工用対物レンズ、43…アクチュエータ、13…レーザヘッド、44…レーザダイオード、45…受光部。

#### 発明を実施するための最良の形態

[0038] 本発明の知見は、例示のみのために示された添付図面を参照して以下の詳細な記述を考慮することによって容易に理解することができる。引き続いて、添付図面を参照しながら本発明の実施の形態を説明する。可能な場合には、同一の部分には同一の符号を付して、重複する説明を省略する。

[0039] 本実施形態のレーザ加工装置について図1を参照しながら説明する。図1に示すように、レーザ加工装置1は、ステージ2(移動手段)上に載置された平板状の加工対象物Sの内部に集光点Pを合わせて加工用レーザ光L1(第1のレーザ光)を照射し、加工対象物Sの内部に多光子吸収による改質領域Rを形成する装置である。ステージ2は、上下方向及び左右方向への移動並びに回転移動が可能なものであり、このステージ2の上方には、主にレーザヘッドユニット3、光学系本体部4及び対物レンズユニット5からなるレーザ出射装置6が配置されている。また、レーザ加工装置1は制御装置7(制御手段)を備えており、制御装置7はステージ2及びレーザ出射装置6に対してそれぞれの挙動(ステージ2の移動、レーザ出射装置6のレーザ光の出射等)を制御するための制御信号を出力する。

[0040] レーザヘッドユニット3は、光学系本体部4の上端部に着脱自在に取り付けられている。このレーザヘッドユニット3はL字状の冷却ジャケット11を有しており、この冷却ジャケット11の縦壁11a内には、冷却水が流通する冷却管12が蛇行した状態で埋設されている。この縦壁11aの前面には、加工用レーザ光L1を下方に向けて出射するレーザヘッド13と、このレーザヘッド13から出射された加工用レーザ光L1の光路の開

放及び閉鎖を選択的に行うシャッタユニット14とが取り付けられている。これにより、レーザヘッド13及びシャッタユニット14が過熱するのを防止することができる。なお、レーザヘッド13は、例えばNd:YAGレーザを用いたものであり、加工用レーザ光L1としてパルス幅1  $\mu$ s以下のパルスレーザ光を出射する。

[0041] 更に、レーザヘッドユニット3において、冷却ジャケット11の底壁11bの下面には、冷却ジャケット11の傾き等を調整するための調整部15が取り付けられている。この調整部15は、レーザヘッド13から出射された加工用レーザ光L1の光軸 $\alpha$ を、上下方向に延在するように光学系本体4及び対物レンズユニット5に設定された軸線 $\beta$ に一致させるためのものである。つまり、レーザヘッドユニット3は調整部15を介して光学系本体部4に取り付けられる。その後、調整部15により冷却ジャケット11の傾き等が調整されると、冷却ジャケット11の動きに追従してレーザヘッド13の傾き等も調整される。これにより、加工用レーザ光L1は、その光軸 $\alpha$ が軸線 $\beta$ と一致した状態で光学系本体4内に進行することになる。なお、冷却ジャケット11の底壁11b、調整部15及び光学系本体部4の筐体21には、加工用レーザ光L1が通過する貫通孔が形成されている。

[0042] また、光学系本体部4の筐体21内の軸線 $\beta$ 上には、レーザヘッド13から出射された加工用レーザ光L1のビームサイズを拡大するビームエキスパンダ22と、加工用レーザ光L1の出力を調整する光アッテネータ23と、光アッテネータ23により調整された加工用レーザ光L1の出力を観察する出力観察光学系24と、加工用レーザ光L1の偏光を調整する偏光調整光学系25とが上から下にこの順序で配置されている。なお、光アッテネータ23には、除去されたレーザ光を吸収するビームダンパ26が取り付けられており、このビームダンパ26は、ヒートパイプ27を介して冷却ジャケット11に接続されている。これにより、レーザ光を吸収したビームダンパ26が過熱するのを防止することができる。

[0043] 更に、ステージ2上に載置された加工対象物Sを観察すべく、光学系本体部4の筐体21には、観察用可視光を導光するライトガイド28が取り付けられ、筐体21内にはCCDカメラ29が配置されている。観察用可視光はライトガイド28により筐体21内に導かれ、視野絞り31、レチクル32、ダイクロイックミラー33等を順次通過した後、軸線

$\beta$ 上に配置されたダイクロイックミラー34により反射される。反射された観察用可視光は、軸線 $\beta$ 上を下方に向かって進行して加工対象物Sに照射される。なお、加工用レーザ光L1はダイクロイックミラー34を透過する。

[0044] そして、加工対象物Sの表面S1で反射された観察用可視光の反射光は、軸線 $\beta$ を上方に向かって進行し、ダイクロイックミラー34により反射される。このダイクロイックミラー34により反射された反射光は、ダイクロイックミラー33により更に反射されて結像レンズ35等を通過し、CCDカメラ29に入射する。このCCDカメラ29により撮像された加工対象物Sの画像はモニタ(図示せず)に映し出される。

[0045] また、対物レンズユニット5は、光学系本体部4の下端部に着脱自在に取り付けられている。対物レンズユニット5は、複数の位置決めピンによって光学系本体部4の下端部に対して位置決めされるため、光学系本体4に設定された軸線 $\beta$ と対物レンズユニット5に設定された軸線 $\beta$ とを容易に一致させることができる。この対物レンズユニット5の筐体41の下端には、ピエゾ素子を用いたアクチュエータ43(保持手段)を介在させて、軸線 $\beta$ に光軸が一致した状態で加工用対物レンズ42が装着されている。なお、光学系本体部4の筐体21及び対物レンズユニット5の筐体41には、加工用レーザ光L1が通過する貫通孔が形成されている。また、加工用対物レンズ42によって集光された加工用レーザ光L1の集光点Pにおけるピークパワー密度は $1 \times 10^8$  ( $W/cm^2$ )以上となる。

[0046] 更に、対物レンズユニット5の筐体41内には、加工対象物Sの表面S1から所定の深さに加工用レーザ光L1の集光点Pを位置させるべく、測距用レーザ光L2(第2のレーザ光)を出射するレーザダイオード44と受光部45とが配置されている。測距用レーザ光L2はレーザダイオード44から出射され、ミラー46、ハーフミラー47により順次反射された後、軸線 $\beta$ 上に配置されたダイクロイックミラー48により反射される。反射された測距用レーザ光L2は、軸線 $\beta$ 上を下方に向かって進行し、加工用対物レンズ42を通過して加工対象物Sの表面S1に照射される。なお、加工用レーザ光L1はダイクロイックミラー48を透過する。

[0047] そして、加工対象物Sの表面S1で反射された測距用レーザ光L2の反射光は、加工用対物レンズ42に再入射して軸線 $\beta$ 上を上方に向かって進行し、ダイクロイックミ

ラー48により反射される。このダイクロイックミラー48により反射された測距用レーザ光L2の反射光は、ハーフミラー47を通過して受光部45内に入射し、フォトダイオードを4等分してなる4分割位置検出素子(変位取得手段)上に集光される。この4分割位置検出素子上に集光された測距用レーザ光L2の反射光の集光像パターンに基づいて、加工用対物レンズ42による測距用レーザ光L2の集光点が加工対象物Sの表面S1に対してどの位置にあるかを検出することができる。4分割位置検出素子上に集光された測距用レーザ光L2の反射光の集光像パターンに関する情報は、制御装置7に出力される。制御装置7はこの情報に基づいて、アクチュエータ43に加工用対物レンズ42を保持する位置を指示する制御信号を出力する。

[0048] 制御装置7は物理的には、ステージ2及びレーザ出射装置6と信号の授受を行うためのインタフェイスと、CPU(中央演算装置)と、メモリやHDDといった記憶装置と、を備え、記憶装置に格納されているプログラムに基づいてCPUが所定の情報処理を行い、その情報処理の結果を制御信号としてインタフェイスを介してステージ2及びレーザ出射装置6に出力する。

[0049] 制御装置7の機能的な構成を図2に示す。図2に示すように、制御装置7は機能的には、レーザ出射制御部701と、ステージ移動制御部702と、アクチュエータ制御部703と、集光点演算部704と、端部判断部705と、を備える。レーザ出射制御部701は、加工用レーザ光L1及び測距用レーザ光L2の出射を制御する信号をレーザヘッドユニット3のレーザヘッド13及び対物レンズユニット5のレーザダイオード44にそれぞれ出力する部分である。ステージ移動制御部702は、ステージ2の移動を制御する制御信号をステージ2に出力する部分である。アクチュエータ制御部703はアクチュエータ43の駆動を制御する制御信号を対物レンズユニット5のアクチュエータ43に出力する部分である。集光点演算部704は対物レンズユニット5の受光部45から出力される非点収差信号に基づいて、加工対象物Sと測距用レーザ光L2の集光点との距離を算出する部分である。端部判断部705は受光部45が受光する光量に基づいて、加工用対物レンズ42が加工対象物Sの端部に対応する位置にあるかどうかを判断する部分である。尚、各機能的構成要素の動作については後述する。

[0050] 以上のように構成されたレーザ加工装置1によるレーザ加工方法の概要について

説明する。まず、ステージ2上に加工対象物Sを載置し、ステージ2を移動させて加工対象物Sの内部に加工用レーザ光L1の集光点Pを合わせる。このステージ2の初期位置は、加工対象物Sの厚さや屈折率、加工用対物レンズ42の開口数等に基づいて決定される。

[0051] 続いて、レーザヘッド13から加工用レーザ光L1を出射すると共に、レーザダイオード44から測距用レーザ光L2を出射し、加工用対物レンズ42により集光された加工用レーザ光L1及び測距用レーザ光L2が加工対象物Sの所望のライン(切断予定ライン)上をスキャンするようにステージ2を移動させる。このとき、受光部45により測距用レーザ光L2の反射光が検出され、加工用レーザ光L1の集光点Pの位置が加工対象物Sの表面S1から常に一定の深さとなるようにアクチュエータ43が制御装置7によってフィードバック制御されて、加工用対物レンズ42の位置が軸線 $\beta$ 方向に微調整される。

[0052] 従って、例えば加工対象物Sの表面S1に面振れがあっても、表面S1から一定の深さの位置に多光子吸収による改質領域Rを形成することができる。このように平板状の加工対象物Sの内部にライン状の改質領域Rを形成すると、そのライン状の改質領域Rが起点となって割れが発生し、ライン状の改質領域Rに沿って容易且つ高精度に加工対象物Sを切断することができる。

[0053] 本実施形態のレーザ加工装置1を用いるレーザ加工方法についてより具体的に説明する。このレーザ加工方法の説明では、レーザ加工装置1の動作も併せて説明する。

[0054] 本実施形態のレーザ加工方法は、ウェハ状の加工対象物Sの表面(主面)S1の変位を測定するための測距用レーザ光L2のみを照射する準備工程と、加工用レーザ光L1及び測距用レーザ光L2をともに照射する加工工程とに分けることができるので、準備工程及び加工工程についてそれぞれ説明する。

[0055] (準備工程) まず、測距用レーザ光L2のみを照射する準備工程について説明する。

[0056] 図3は加工対象物Sの平面図である。加工対象物Sには $n$ 本の切断予定ライン $C_1 \sim C_n$ が設定されており、後に説明する加工工程においてはこの切断予定ライン $C_1 \sim C_n$

それぞれでレーザ加工を行う。この準備工程では各切断予定ライン $C_1 \sim C_n$ それぞれの端部における加工対象物Sの表面S1の変位を取得し、その取得した変位に基づいて加工用対物レンズ42(図1参照)の初期位置を設定する。例えば、切断予定ライン $C_1$ では、切断予定ライン $C_1$ 上の一点 $Q_1$ から図中左に向かって切断予定ライン $C_1$ の一端までの変位を取得し、その取得した位置に基づいて加工用対物レンズ42(図1参照)の初期位置を設定し、その設定した初期位置で切断予定ライン $C_1$ の延長上の点 $X_1$ に加工用対物レンズ42が位置するようにステージ2を移動させる。より詳細に図4(A)～図4(C)を参照しながら説明する。

[0057] 図4(A)～図4(C)は、図3のII-II断面を示す図である。尚、理解を容易にするために図4(A)～図4(C)においては断面を示すハッチングを省略する。図4(A)に示すように、加工対象物Sはダイシングフィルム2aを介してステージ2に吸着されて固定されている。ダイシングフィルム2aはダイシングリング(図示しない)で固定されている。図4(A)に示すように、加工対象物2の切断予定ライン $C_1$ 上の一点 $Q_1$ に対応する位置に加工用対物レンズ42が配置されるようにステージ2が移動する。加工用対物レンズ42を保持しているアクチュエータ43は最も縮んだ状態から $25\mu\text{m}$ 伸びた状態になる。この伸び量 $25\mu\text{m}$ は、アクチュエータ43の最大伸び量 $50\mu\text{m}$ の半分の量として設定されている。この状態で観察用可視光の反射光のピントが合うようにステージ2を上下させる。

[0058] 続いて、図4(B)に示すように、図4(A)の状態からステージ2が更に所定の距離(以下、加工高さ)上昇して、加工対象物Sの表面S1と加工用対物レンズ42との距離が図4(A)における距離から加工高さ分だけ近づくように設定される。ここで、可視域のピント位置とレーザ光の集光位置とが一致するものとすれば、加工用レーザ光L1は、加工対象物Sの内部であって、その表面S1から加工高さ $h$ と加工対象物Sのレーザ波長 $\lambda$ における屈折率 $n$ との積の値に相当する位置に集光されることになる。例えば、加工対象物Sがシリコンウェハであってその屈折率が3.6(波長 $1.06\mu\text{m}$ )であり、加工高さが $10\mu\text{m}$ であれば、 $3.6 \times 10 = 36\mu\text{m}$ の位置に集光されることになる。図4(B)に示す状態で測距用レーザ光L2の反射光から非点収差信号を得て、この非点収差信号の値を基準値とする。測距用レーザ光L2の反射光から得られる非点収

差信号がこの基準値となるように、アクチュエータ43の伸縮量を調整しながら図4(B)中矢印Eの方向に加工用対物レンズ42が移動するように、ステージ2を移動させる。すなわち、アクチュエータ43の伸縮量は加工対象物Sの表面S1の変位に応じて変化するようになるので、この工程では加工対象物Sの表面S1の変位を取得することになる。

[0059] 図4(B)に示す状態から図4(C)に示す状態までは、加工用対物レンズ42が切断予定ライン $C_1$ 上の一点 $Q_1$ から切断予定ライン $C_1$ の一端までに対応する位置を移動する。この間、測距用レーザ光L2の反射光から得られる非点収差信号が上記基準値となるようにアクチュエータ43が調整される。図4(C)に示す状態から更に加工用対物レンズ42が加工対象物Sの外側に位置するようになると、測距用レーザ光L2は加工対象物S以外の部分、すなわちダイシングフィルム2a上に照射されることになる。ダイシングフィルム2aでは測距用レーザ光L2の反射率が低いため、受光部45(図1参照)の4分割位置検出素子が検出する測距用レーザ光L2の反射光の全光量は小さくなる。従って、受光部45(図1参照)の4分割位置検出素子が検出する全光量が予め定められた閾値よりも小さくなった場合に、加工用対物レンズ42が切断予定ライン $C_1$ の一端に相当する位置にあるものとして(図4(C)に相当する状態になってもものとして)、その時点でのアクチュエータの伸び量を保持して初期位置とする。加工用対物レンズ42はその初期位置で保持された状態で、加工用対物レンズ42が切断予定ライン $C_1$ の延長上の点 $X_1$ の位置となるようにステージ2を移動させて待機状態となる。

[0060] 尚、上述の説明で、加工用対物レンズ42が切断予定ライン $C_1$ の一端に相当する位置にあること検出するために、受光部45(図1参照)の4分割位置検出素子が検出する全光量が予め定められた閾値よりも小さくなったことに基づいたが、これに限られず他の基準を適用することもできる。その一例を図5(A)～図5(B)を参照しながら説明する。図5(A)は、縦軸に受光部45(図1参照)の4分割位置検出素子が検出する全光量を取り、横軸に時間をとって、図4(B)～図4(C)の状態における受光部45(図1参照)の4分割位置検出素子が検出する全光量の変化を記録した図である。この場合には上述の通り、予め定められた閾値 $T_1$ を下回った時点で加工用対物レンズ42が切断予定ライン $C_1$ の一端に相当する位置にあると判断している。



- [0061] 図5(A)のグラフから、所定の間隔ごと(例えば、各サンプリングポイントそれぞれ)に、後の全光量の値から前の全光量の値を差し引いた差分の変化量を算出し、縦軸に変化量をとって横軸に時間をとった図を図5(B)に示す。この場合に、負のピークが現れている部分は、全光量の変化が最も大きな点、すなわち加工対象物Sのエッジ(外縁)中央付近に相当する部分であると考えられる。そこで、この部分に相当するアクチュエータ43の伸縮量で固定することもできる。
- [0062] この準備工程におけるレーザ加工装置1の動作について図6に示すフローチャートを参照しながら説明する。制御装置7のステージ制御部702がステージ2に対して加工用対物レンズ42が $C_1$ 上の一点 $Q_1$ に移動するように制御信号を出力する(ステップS01)。この制御信号の出力に応じてステージ2が移動する。更に制御装置7のアクチュエータ制御部703がアクチュエータ43に対して $25\mu\text{m}$ 伸びるように制御信号を出力する(ステップS02)。この制御信号の出力に応じてアクチュエータ43は $25\mu\text{m}$ 伸びる。この状態で可視観察光によってピントが合うようにステージ2を上下させ、その可視観察光のピントが合う位置を設定し、加工用対物レンズ42及び加工対象物Sは図4(A)で説明した状態になる(ステップS03)。
- [0063] 制御装置7のステージ移動制御部702がステージ2に対して所定の加工高さ(例えば、 $10\mu\text{m}$ )上昇するように制御信号を出力する(ステップS04)。この制御信号の出力に応じてステージは $10\mu\text{m}$ 上昇し、加工用対物レンズ42及び加工対象物Sは図4(B)で説明した状態になる。
- [0064] 制御装置7のレーザ出射制御部701はレーザダイオード44に対して測距用レーザ光L2を出射するように制御信号を出力する(ステップS05)。この制御信号の出力に応じてレーザダイオード44は測距用レーザ光L2を出射し、加工対象物Sの表面S1で反射された反射光は受光部45の4分割位置検出素子が受光する。この受光に応じて出力される信号は集光点演算部704及び端部判断部705に出力される。
- [0065] 集光点演算部704はこの状態における非点収差信号の値を基準値として保持する。この保持した基準値になるようにアクチュエータ制御部703に指示信号を出力する(ステップS06)。続いて、ステージ移動制御部702からステージ2に対して、加工用対物レンズ42が加工対象物Sの切断予定ライン $C_1$ 上を図4(B)の矢印E方向に移動

するように制御信号を出力する(ステップS07)。この制御信号の出力に応じてステージ2は移動し、アクチュエータ43は加工対象物Sの表面S1の変位に応じて伸縮して、測距用レーザ光L2の集光点位置が基準位置となるように加工用対物レンズ42を保持する。

[0066] 端部判断部705は、受光部45から出力される信号に基づいて、加工用対物レンズ42が加工対象物Sの端部に差し掛かったかどうかを判断する(ステップS08)。端部判断部705は、加工用対物レンズ42が加工対象物Sの端部に差し掛かったと判断すると、アクチュエータ制御部703に対してアクチュエータ43の伸縮を停止する制御信号を出力するように指示する指示信号を出力する。この指示信号の出力に応じて、アクチュエータ制御部703はアクチュエータ43に対して伸縮を停止して保持状態とするための制御信号を出力する(ステップS09)。この制御信号の出力に応じてアクチュエータ43は伸縮を停止する。ステージ移動制御部702は、加工用対物レンズ42が切断予定ラインC1の延長線上の点X1に差し掛かると、ステージ2に対して移動を停止するように制御信号を出力する(ステップS10)。

[0067] (加工工程) 引き続いて、加工用レーザ光L1及び測距用レーザ光L2を照射する加工工程について説明する。

[0068] 図4(A)ー図4(C)と同様に図3のII-II断面を示す図7(A)ー図7(C)を参照しながら説明する。尚、理解を容易にするために図7(A)ー図7(C)においては断面を示すハッチングを省略する。図7(A)は図4(C)の状態から引き続いて、切断予定ラインC1の延長線上の点X1で加工用対物レンズ42が待機状態にある様子を示している。アクチュエータ43は図4(C)で設定された伸び量で固定されている。すなわち、ステップS09での保持状態が維持されている。図7(A)の状態では加工用レーザ光L1及び測距用レーザ光L2が照射される。加工用対物レンズ42が図中矢印Fの方向に移動するようにステージ2が移動する。

[0069] 加工用対物レンズ42が図7(A)中の矢印F方向に移動すると、加工対象物Sの切断予定ラインC1と交差する位置に到達し、図7(B)に示す状態になる。測距用レーザ光L2はダイシングフィルム2aにおいては反射率が低く反射される全光量は少ないが、加工対象物Sにおいては反射される全光量が増大する。すなわち、受光部45(図1

参照)の4分割位置検出素子が検出する測距用レーザ光L2の反射光の全光量が多くなるので、反射光の全光量が予め定められた閾値を超えた場合に加工対象物Sの切断予定ラインC<sub>1</sub>と加工用対物レンズ42が交差する位置にあるものと判断できる。従って、受光部45(図1参照)の4分割位置検出素子が検出する全光量が予め定められた閾値よりも大きくなった場合に、加工用対物レンズ42が切断予定ラインC<sub>1</sub>の一端に相当する位置にあるものとして(図7(B)に相当する状態になってものとして)、その時点でのアクチュエータの伸び量の保持を解除して非点収差信号が基準値となるようにアクチュエータ43の伸び量制御を開始する。尚、図7(B)の区間G(一端部)においては一定の加工高さで改質層が形成されることになる。

- [0070] その後、加工用対物レンズ42は切断予定ラインC<sub>1</sub>に沿って移動し、加工用レーザ光L1によって改質層Rを形成する。この間、測距用レーザ光L2の反射光から得られる非点収差信号が上記基準値となるようにアクチュエータ43が調整される。
- [0071] 尚、上述の説明で、加工用対物レンズ42が切断予定ラインC<sub>1</sub>の一端に相当する位置に到達したこと検出するために、受光部45(図1参照)の4分割位置検出素子が検出する全光量が予め定められた閾値よりも大きくなったことに基づいたが、これに限らず他の基準を適用することもできる。その一例を図8(A)ー図8(B)を参照しながら説明する。図8(A)は、縦軸に受光部45(図1参照)の4分割位置検出素子が検出する全光量を取り、横軸に時間をとって、図7(B)ー図7(C)に相当する受光部45(図1参照)の4分割位置検出素子が検出する全光量の変化を記録した図である。この場合には上述の通り、予め定められた閾値T<sub>2</sub>を上回った時点で加工用対物レンズ42が切断予定ラインC<sub>1</sub>の一端に相当する位置に到達したと判断している。
- [0072] 図8(A)のグラフから、所定の間隔ごと(例えば、各サンプリングポイントごと)に、後の全光量の値から前の全光量の値を差し引いた差分の変化量を算出し、縦軸に変化量をとって横軸に時間をとった図を図8(B)に示す。この場合に、負のピークが現れている部分は、全光量の変化が最も大きな点、すなわち加工対象物Sのエッジ中央付近に相当する部分であると考えられる。そこで、図8(A)に示す全光量が閾値T<sub>2</sub>となった後であって、図8(B)に示す差分のピークの変化が収まった後にアクチュエータ43の追従を開始することもできる。

- [0073] この加工工程におけるレーザ加工装置1の動作について図9に示すフローチャートを参照しながら説明する。尚、レーザ加工装置1のステージ2及び加工用対物レンズ42は、準備工程を経て図7(A)を参照しながら説明した状態にあるものとする。
- [0074] 制御部7のレーザ出射制御部701が、レーザヘッド13に対して加工用レーザ光L1を出射するように、レーザダイオード44に対しては測距用レーザ光L2を出射するように、それぞれ制御信号を出力する(ステップS11)。この制御信号の出力に応じて加工用レーザ光L1及び測距用レーザ光L2がそれぞれ出射される。
- [0075] 制御装置7のステージ制御部702がステージ2に対して加工用対物レンズ42が図7(A)の矢印F方向に移動するように制御信号を出力する(ステップS12)。この制御信号の出力に応じてステージ2は移動を開始する。
- [0076] 制御装置7の端部判断部705は、受光部45から出力される信号に基づいて、加工用対物レンズ42が加工対象物Sの端部に差し掛かったかどうかを判断する(ステップS13)。端部判断部705は、加工用対物レンズ42が加工対象物Sの端部に差し掛かったと判断すると、アクチュエータ制御部703に対してアクチュエータ43の伸縮を開始して、非点収差信号が、保持している基準値と等しくなるように制御信号を出力するよう指示する指示信号を出力する。アクチュエータ制御部703はアクチュエータ43に伸縮を開始して、非点収差信号が、保持している基準値に等しくなるための制御信号を出力する(ステップS14)。この制御信号の出力に応じてアクチュエータ43は加工対象物Sの表面S1の変位に応じて伸縮して、測距用レーザ光L2の集光点位置が基準位置となるように加工用対物レンズ42を保持する。従って、加工対象物Sの表面S1の変位に応じた位置に改質領域Rが形成される(図7(C)参照)。ステージ移動制御部702は、切断予定ライン $C_1$ に沿った改質領域Rの形成が終了し、加工用対物レンズ42が加工対象物Sの外側に移動すると、ステージ2に対して移動を停止するように制御信号を出力する(ステップS15)。
- [0077] 上述した準備工程及び加工工程は、加工対象物Sの全ての切断予定ライン $C_1 \sim C_n$ それぞれで行われ、切断予定ライン $C_1 \sim C_n$ それぞれに沿って改質領域Rが形成される。
- [0078] 本実施形態では、加工対象物Sの切断予定ライン上の一点から切断予定ラインの

一端に向かって、測距用レーザ光L2の反射光から取得できる非点収差信号が一定の値となるように加工用対物レンズ42と加工対象物Sとの距離を調整しながら加工用対物レンズ42を移動させ、加工対象物Sの端部において加工用対物レンズ42と加工対象物Sとの距離を保持して初期位置を設定する。従って、加工対象物Sの端部が湾曲していたり、加工対象物Sの厚みにばらつきがあったりしても、その形状変動に合わせた初期位置に加工用対物レンズ42を保持することができる。

[0079] この初期位置に加工用対物レンズ42を保持して加工用レーザ光L1を照射してレーザ加工を開始するので、加工対象物Sの端部の形状変動の影響を極力排除することができる。

[0080] 加工用対物レンズ42を初期位置に保持した状態で加工対象物Sの端部に改質領域を形成した後に加工用対物レンズ42を保持した状態を解除して、加工用対物レンズ42と加工対象物Sとの距離が一定となるように調整しながら改質領域を形成するので、加工対象物Sの表面S1から一定の距離隔てた位置に改質領域を安定して形成できる。

[0081] 切断予定ラインに沿って改質領域を安定して形成することができるので、改質領域を形成した後にダイシングフィルム2aの拡張等により加工対象物としてのウエハをチップ状に切断・分離する工程において、良好な切断品質で且つ大量のウエハを切断する場合でも常に安定してウエハの切断を行うことができる。

#### 産業上の利用可能性

[0082] 本発明のレーザ加工方法及びレーザ加工装置によれば、加工対象物の端部におけるレーザ光の集光点のずれを極力少なくしつつ効率よくレーザ加工を行うことができる。

## 請求の範囲

- [1] 第1のレーザ光をレンズで集光して加工対象物の内部に集光点を合わせて照射し、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って前記加工対象物の内部に改質領域を形成するレーザ加工方法であって、
- 前記加工対象物の主面の変位を測定するための第2のレーザ光を前記加工対象物に向けて照射し、当該照射に応じて前記主面で反射される反射光を検出しながら、前記切断予定ライン上の一点と前記切断予定ラインの一端との間の変位を取得する変位取得ステップと、
- 当該取得した変位に基づいて前記加工対象物の主面に対して前記レンズを保持する初期位置を設定し、当該設定した初期位置に前記レンズを保持する位置設定ステップと、
- 当該レンズを初期位置に保持した状態で前記第1のレーザ光を照射して前記切断予定ラインの一端部において前記改質領域を形成し、当該一端部において前記改質領域を形成した後に前記レンズを前記初期位置に保持した状態を解除して前記レンズの位置を調整しながら前記改質領域を形成する加工ステップと、
- を備えるレーザ加工方法。
- [2] 前記変位取得ステップにおいては、前記第1のレーザ光を照射せずに前記第2のレーザ光を照射する、請求項1に記載のレーザ加工装置。
- [3] 前記第1のレーザ光と前記第2のレーザ光とを前記レンズで集光して同一の軸線上で前記加工対象物に向けて照射する、請求項1に記載のレーザ加工方法。
- [4] 前記変位取得ステップにおいては、前記切断予定ライン上の一点から前記切断予定ラインの一端に向かって変位を取得する、請求項1に記載のレーザ加工方法。
- [5] 前記変位取得ステップにおいては、前記第2のレーザ光の反射光の光量も併せて取得しており、
- 前記位置設定ステップにおいては、当該取得した光量の変化量が極値となった部位における変位に基づいて前記初期位置を設定する、請求項1に記載のレーザ加工方法。
- [6] 前記変位取得ステップにおいては、前記第2のレーザ光の反射光の光量も併せて

取得しており、

前記位置設定ステップにおいては、当該取得した光量が所定の閾値となった部位における変位に基づいて前記初期位置を設定する、請求項1に記載のレーザ加工方法。

[7] 前記加工ステップにおいては、前記第2のレーザ光を前記加工対象物の主面に向けて照射し、当該照射に応じて前記主面で反射される反射光の光量に基づいて前記レンズを前記初期位置に保持した状態を解除する、請求項1に記載のレーザ加工方法。

[8] 前記加工ステップにおいては、前記反射光の光量の変化量が極大値となった後に前記レンズを前記初期位置に保持した状態を解除する、請求項7に記載のレーザ加工方法。

[9] 前記加工ステップにおいては、前記反射光の光量が所定の閾値となった後に前記レンズを前記初期位置に保持した状態を解除する、請求項7に記載のレーザ加工方法。

[10] 第1のレーザ光を加工対象物の内部に集光点を合わせて照射し、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って前記加工対象物の内部に改質領域を形成するレーザ加工装置であって、

前記第1のレーザ光と前記加工対象物の主面の変位を測定するための第2のレーザ光とを前記加工対象物に向けて集光するレンズと、

前記第2のレーザ光の照射に応じて前記主面で反射される反射光を検出して前記主面の変位を取得する変位取得手段と、

前記加工対象物と前記レンズとを前記主面に沿って相対的に移動させる移動手段と、

前記レンズを前記主面に対して進退自在に保持する保持手段と、

前記移動手段及び前記保持手段それぞれの挙動を制御する制御手段と、  
を備え、

前記第2のレーザ光を照射しながら、前記制御手段は前記加工対象物と前記レンズとを前記切断予定ラインに沿って相対的に移動させるように前記移動手段を制御

し、前記変位取得手段は前記切断予定ラインの一点と前記切断予定ラインの一端との間の変位を取得し、前記制御手段は当該取得した変位に基づいて設定される初期位置に前記レンズが保持されるように前記保持手段を制御し、

当該レンズを初期位置に保持した状態で前記第1のレーザ光を照射しながら、前記制御手段は前記加工対象物と前記レンズとを前記切断予定ラインに沿って相対的に移動させるように前記移動手段を制御して前記切断予定ラインの一端部において前記改質領域を形成し、

当該一端部において改質領域を形成した後に、前記制御手段は前記レンズを前記初期位置に保持した状態を解除して前記レンズの位置を調整しながら保持するように前記保持手段を制御し、前記加工対象物と前記レンズとを前記切断予定ラインに沿って相対的に移動させるように前記移動手段を制御して前記改質領域を形成する、

レーザ加工装置。

- [11] 前記制御手段が前記加工対象物と前記レンズとを前記切断予定ラインに沿って相対的に移動させるように前記移動手段を制御し、前記変位取得手段が前記切断予定ラインの一点と前記切断予定ラインの一端との間の変位を取得する際に、前記第1のレーザ光を照射せずに前記第2のレーザ光を照射する、請求項10に記載のレーザ加工装置。
- [12] 前記レンズは、前記第1のレーザ光と前記第2のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて集光する、請求項10に記載のレーザ加工装置。
- [13] 前記制御手段は前記第2のレーザ光が前記切断予定ラインの一点から一端にかけて照射されるように前記移動手段を制御し、  
前記変位取得手段は当該第2のレーザ光の照射に応じて前記切断予定ラインの一点から一端に向かって変位を取得する、請求項10に記載のレーザ加工装置。
- [14] 前記変位取得手段は前記第2のレーザ光の反射光の光量も併せて取得し、  
前記制御手段は当該取得した光量の変化量が極値となった部位における変位に基づいて前記初期位置を設定する、請求項10に記載のレーザ加工装置。
- [15] 前記変位取得手段は前記第2のレーザ光の反射光の光量も併せて取得し、



前記制御手段は当該取得した光量が所定の閾値となった部位における変位に基づいて前記初期位置を設定する、請求項10に記載のレーザ加工装置。

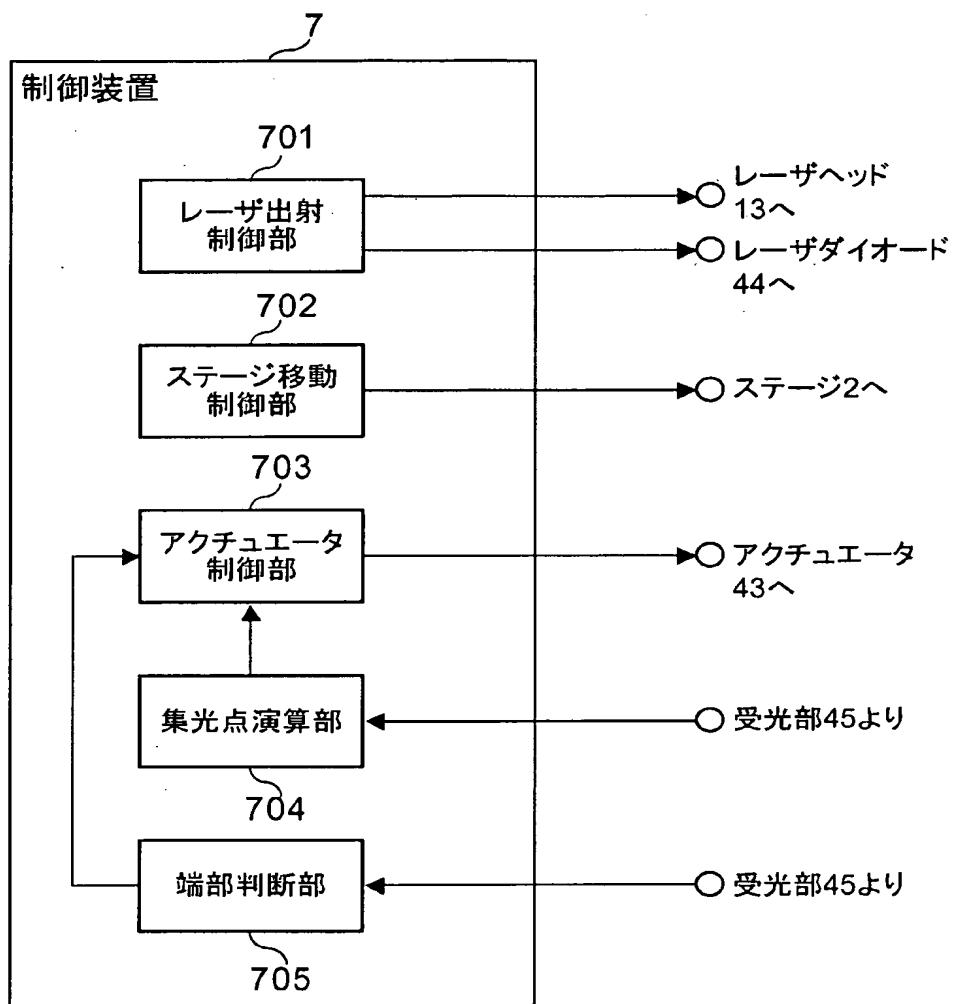
[16] 前記制御手段は前記第2のレーザ光の反射光の光量に基づいて前記レンズを前記初期位置に保持した状態を解除するように前記保持手段を制御する、請求項10に記載のレーザ加工装置。

[17] 前記制御手段は、前記反射光の光量の変化量が極大値となった後に前記レンズを前記初期位置に保持した状態を解除するように前記保持手段を制御する、請求項16に記載のレーザ加工装置。

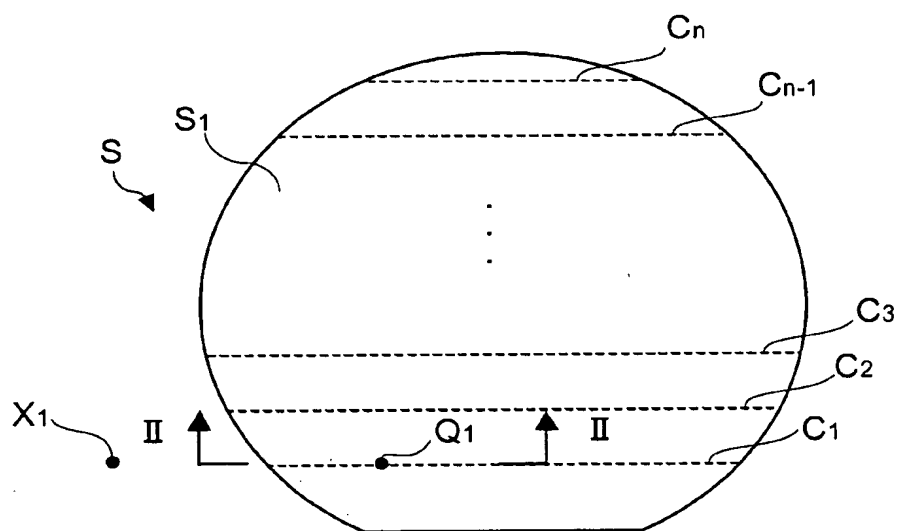
[18] 前記制御手段は、前記反射光の光量が所定の閾値となった後に前記レンズを前記初期位置に保持した状態を解除するように前記保持手段を制御する、請求項16に記載のレーザ加工装置。



[図2]

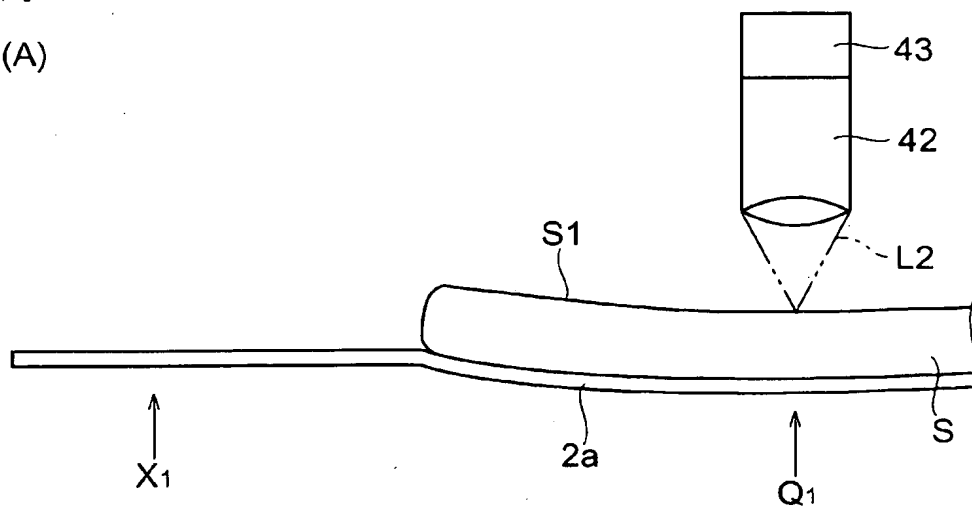


[図3]

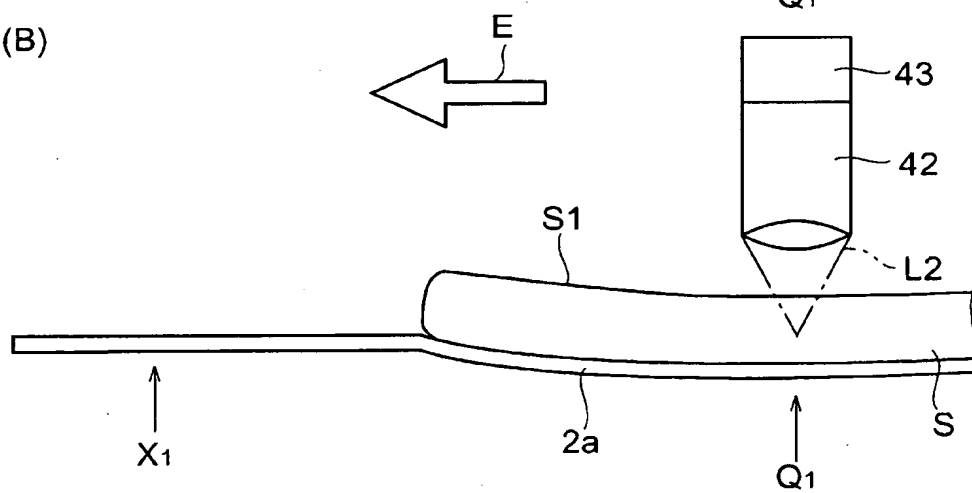


[図4]

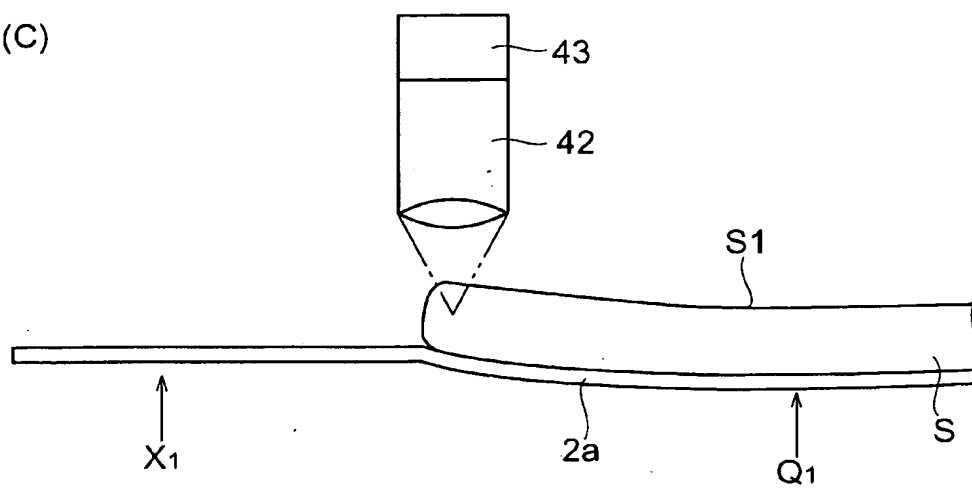
(A)



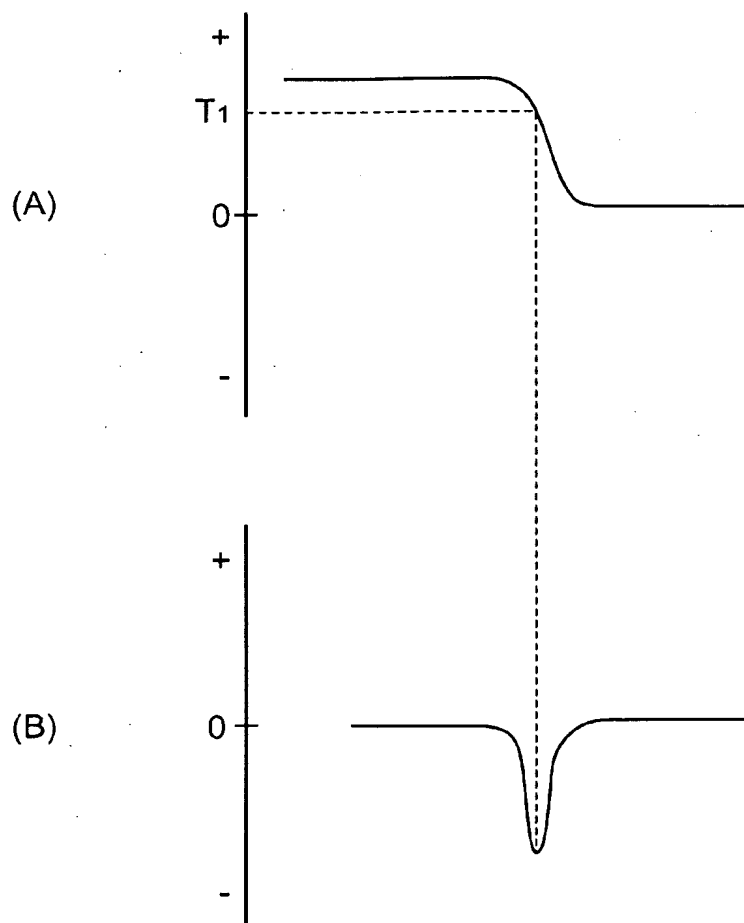
(B)



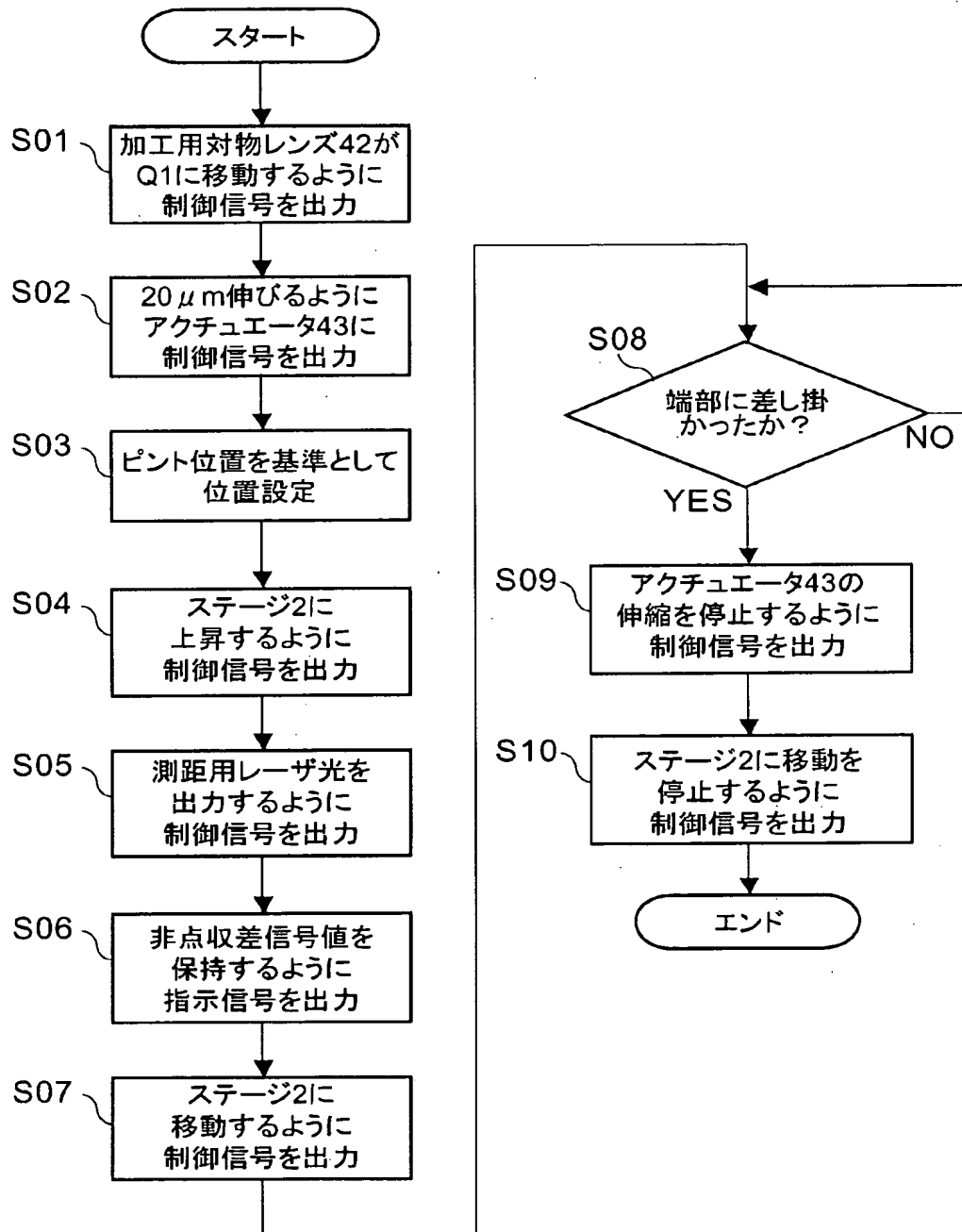
(C)



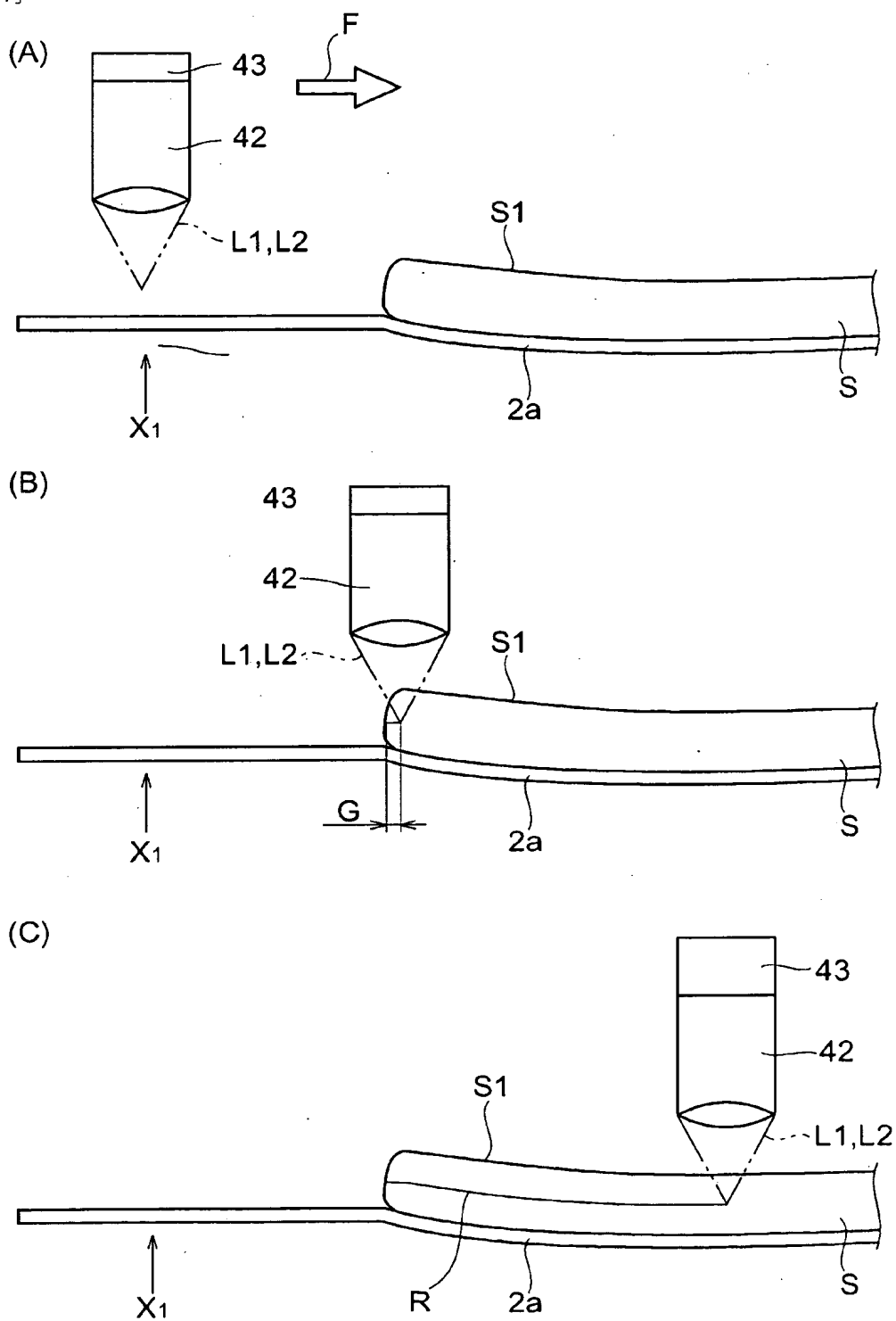
[図5]



[図6]

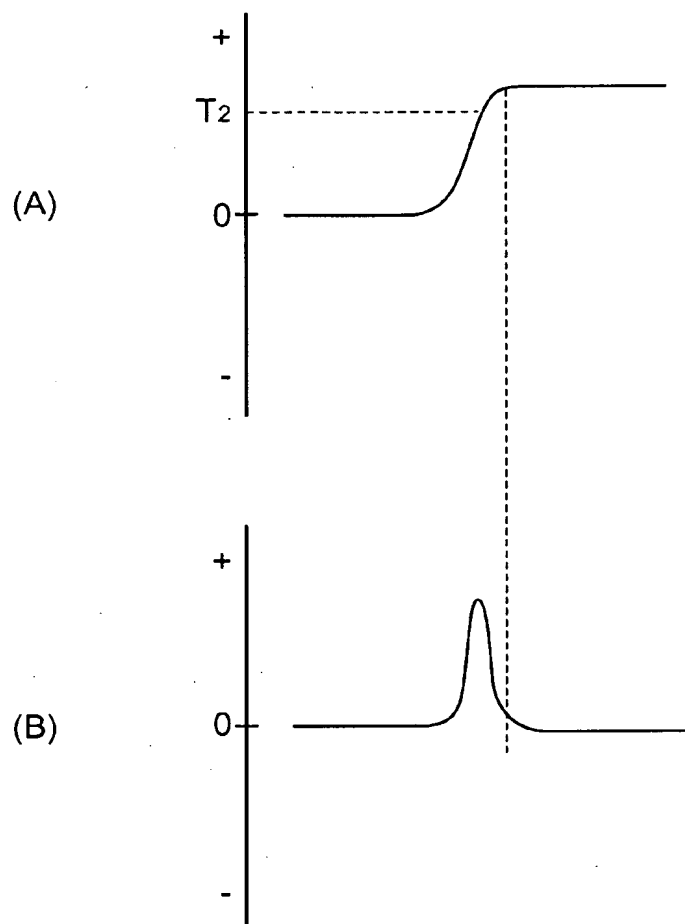


[図7]

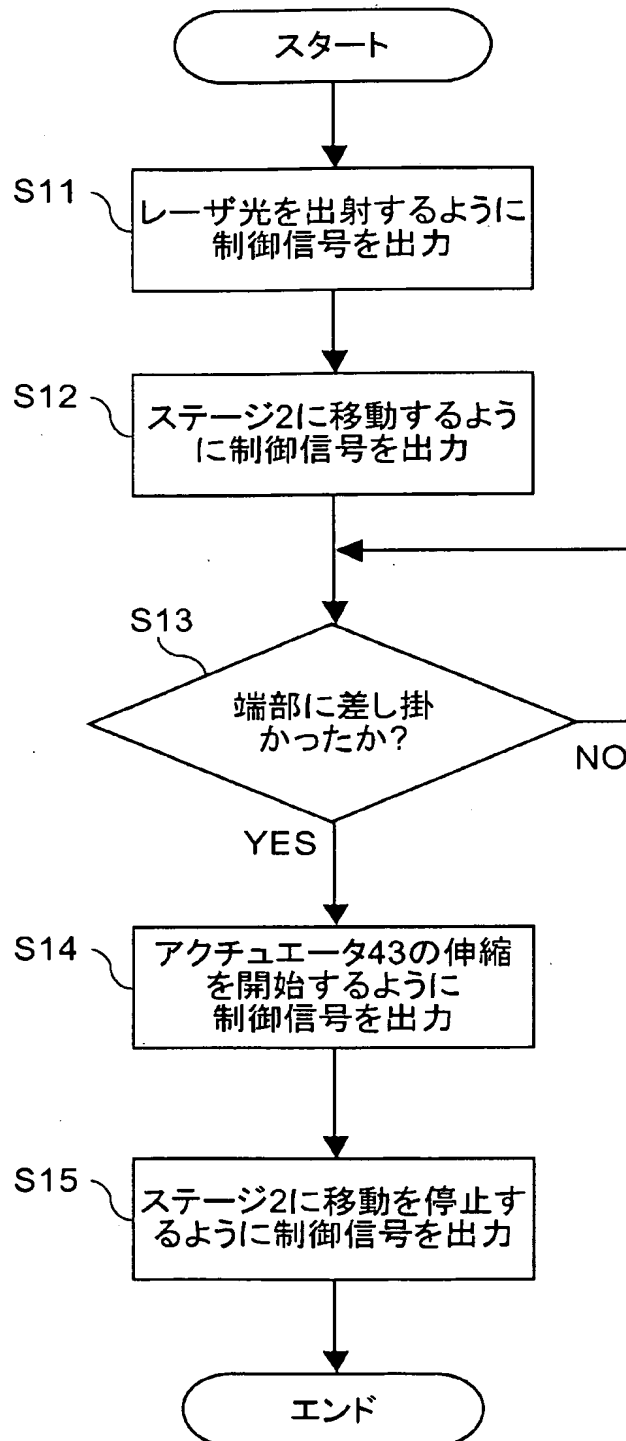




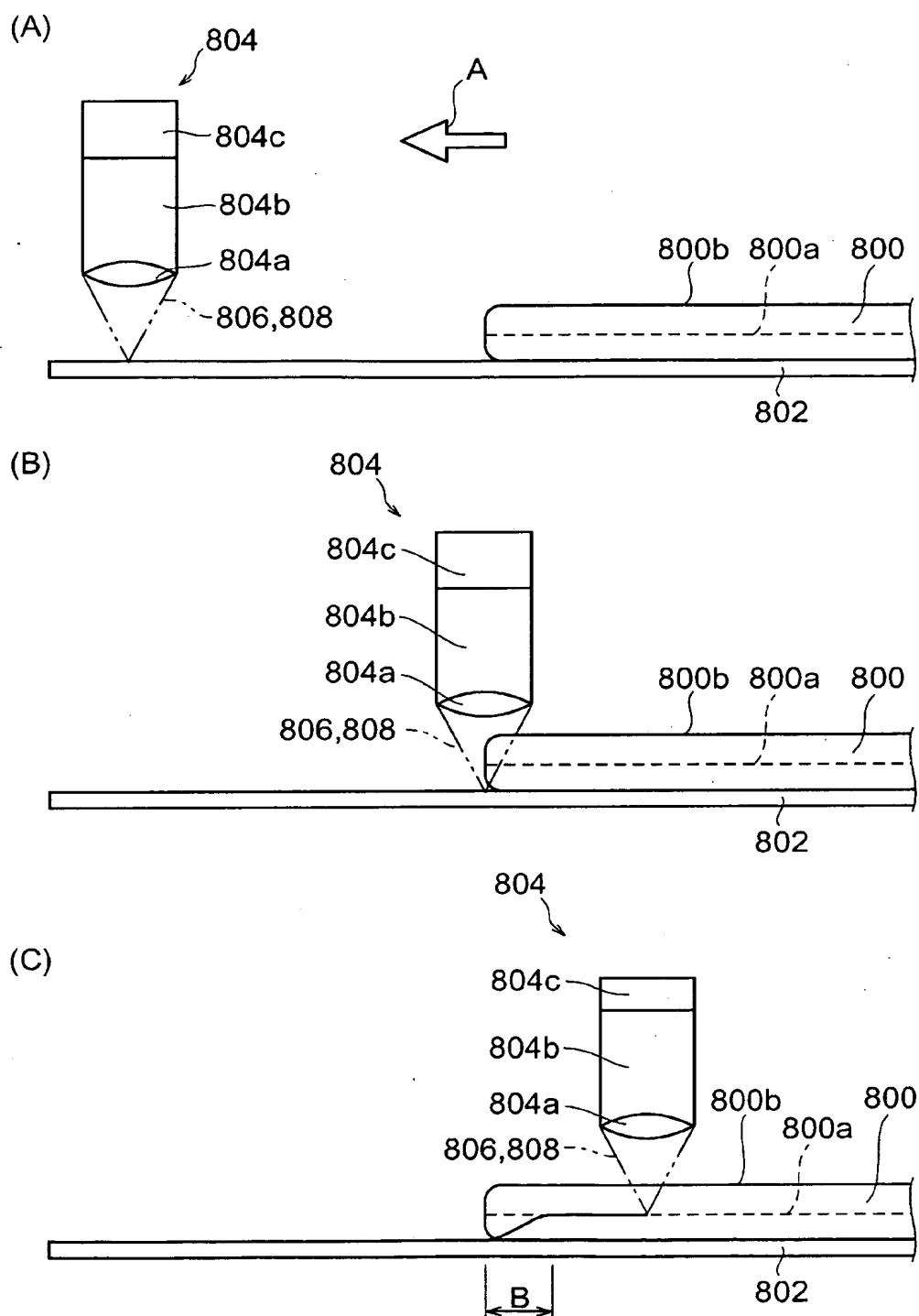
[図8]



[図9]



[図10]



[図11]

